

О.О. Якимов., д-р техн. наук, Одеса, Україна

## **ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ГЕОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ**

*Виявлені умови виникнення в пружній системі верстата коливань, здатних погіршити якісні показники поверхонь деталей, які формуються в умовах переривчастого шліфування. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено вплив кількості прорізів на абразивному крузі і величини відношення ширини прорізу до розміру ріжучого виступу на параметричну стійкість пружної системи верстата і на геометричні показники якості оброблюваної поверхні.*

*Виявлены условия возникновения в упругой системе станка колебаний, способных ухудшить качественные показатели поверхностей деталей, формирующиеся в условиях прерывистого шлифования. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено влияние количества прорезей на абразивном круге и величины отношения ширины прореза к размеру режущего выступа на параметрическую устойчивость упругой системы станка и на геометрические показатели качества обрабатываемой поверхности.*

*The terms of origin in the resilient system of machine-tool of vibrations are exposed, able to worsen high-quality indexes surfaces of details, formi-ruyuschiesya in the conditions of the irregular polishing. In theory it is grounded and influence of amount of openings on an abrasive circle and size of relation of opening width is experimentally confirmed to the size of cutting ledge on self-reactance stability of the resilient system of machine-tool and on the geometrical indexes of quality of the processed surface.*

**Постанова проблеми.** Шліфування, як метод остаточної обробки, дозволяє забезпечити високу точність розмірів і форм і малу шорсткість обробленої поверхні. Основний недолік процесу шліфування – виникнення високих температур в зоні різання. Абразивні круги з переривчастою робочою поверхнею є ефективним засобом зниження температури при шліфуванні [1]. Однак широке використання переривчастих кругів в промисловості стримується малим вивченням динамічних явищ, притаманних цьому виду обробки, виникненню вібрацій абразивного інструменту і, як наслідок, неможливістю забезпечити якісні показники оброблених поверхонь.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виявлення умов виникнення параметричної нестійкості пружної системи верстата та її впливу на значення показників точності оброблених поверхонь присвячені роботи [2-8]. Однак питання пов'язані з виникненням параметричного резонансу при шліфуванні переривчастими абразивними кругами в сучасній технічній літературі не отримали достатнього освітлення.

Мета роботи. Метою даної роботи є встановлення впливу числа ріжучих виступів на переривчастому шліфувальному крузі і величини відношення ширини западини до довжини виступу на погіршення шорсткості обробленої поверхні у зв'язку із зміною параметричної стійкості пружної системи шліфувального верстата.

Виклад основного матеріалу. Отримано умову нестійкої роботи пружної системи [9]:

$$|L| > \frac{1+M}{2}, \quad (1)$$

де

$$L = \frac{e^{-h(\tau_1+\tau_2)}}{h(k_2 + h \sin 2k_2 \tau_1)} \left[ k_1^2 \sin k_1 \tau_1 \sin k_2 \tau_2 - \right. \\ \left. - 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \cos k_2 \tau_1 \cdot \cos k_1 \tau_1 \cdot \cos k_2 (\tau_1 + \tau_2) - \right. \\ \left. - k_2^2 \sin k_1 \tau_1 \sin (2 \cdot k_2 \tau_1 + k_2 \tau_2) \right]; \quad (2)$$

$$M = \frac{k_1 k_2 e^{-2h(\tau_1+\tau_2)} \cos (2 \cdot k_2 \cdot (\tau_1 + \tau_2))}{h(k_2 + h \sin 2k_2 \tau_1)}, \quad (3)$$

$$\text{де } \tau_1 = \frac{l'_1}{V_{kp}}; \quad \tau_2 = \frac{l'_2}{V_{kp}};$$

$$l'_1 = \frac{\pi \cdot D_{kp}}{n \cdot (1+N)}; \quad l'_2 = \frac{\pi \cdot D_{kp}}{n \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)};$$

$$N = \frac{l'_2}{l'_1} - \text{коефіцієнт уривчастості}; \quad n - \text{число западин на шліфувальному}$$

крузі;  $l'_1$  – довжина виступа;  $l'_2$  – довжина западини.

$$k_1 = \sqrt{\frac{C_o}{m} + \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_\lambda}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2; \quad k_2 = \sqrt{\frac{C_o}{m} - \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_\lambda}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2;$$

$t_\lambda, t_\phi$  – глибина різання, встановлена по лімбу й фактична глибина різання відповідно;

$h$  – величина, що характеризує загасання коливань у часі, 1/сек;

$C_0$  – наведена жорсткість пружної системи Н/м;

$V_{kp}$  – швидкість круга;

$D_{kp}$  – діаметр круга;

$m$  – наведена маса круга, (Н·сек<sup>2</sup>)/М.

На рис. 1-4 показані графічні залежності лівої  $L = f(n, N)$  і правої  $\frac{1+M}{2} = f(n, N)$  частин умови нестійкості (1), які виглядають у вигляді хвилеподібної і плоскої поверхонь відповідно.

Лінії взаємного перетину цих поверхонь окреслюють області параметричної нестійкості пружної системи, тобто є межами множин, що включають в себе такі поєднання чисел ріжучих виступів  $n$  і значень коефіцієнта уривчастості  $N$ , при яких дотримується умова нестійкості (1), тобто виникає параметричний резонанс.

На рис. 1, 2, 3, 4 досліджуваний діапазон чисел ріжучих виступів  $4 \leq n \leq 52$  розбитий на окремі інтервали (по 13 виступів в кожному), а на рис. 5 літерами А, Б та В позначені інтервали чисел ріжучих виступів, при яких виникає параметрична нестійкість пружної системи верстата. Після шліфування на верстатах типу МААГ за нульовою схемою переривчастими абразивними кругами, які мають 8, 12, 18, 30, 40, 50 ріжучих виступів, проводились вимірювання параметра шорсткості  $Ra$  на лівому і правому профілях зубів на комплексній вимірювальній машині «КІМ-Р-100».

З рис. 5 видно, що для умов шліфування в пружній системі верстата, що розглядаються в статті, не виникатиме параметричний резонанс, якщо обробку виробляти переривчастими кругами, що мають 5, 7, 11, 25 – 52 ріжучих виступів. З рис. 5 також видно, що із збільшенням числа ріжучих виступів на переривчастому шліфувальному крузі просліджується тенденція до зниження шорсткості поверхні. Зважаючи на те, що собівартість виготовлення переривчастого круга підвищується із збільшенням числа прорізів на його робочій поверхні, а так само те, що в інтервалі зміни ріжучих виступів шорсткість обробленої поверхні знижується дуже мало, можна зробити висновок, що для даних умов шліфування доцільно використовувати переривчасті круги з числом ріжучих виступів  $n = 30 - 35$ .

Зіставлення цих графіків з розрахунковими залежностями  $\frac{M+1}{2} = f(n)$ , які характеризують параметричну нестійкість пружної системи верстата, дозволило встановити погіршення шорсткості поверхні при виникненні параметричного резонансу, що є непрямым підтвердженням правильності зроблених розрахунків. На графіках  $Ra = f(n)$  простежується поліпшення

шорсткості поверхні при збільшенні числа ріжучих виступів на переривчастому абразивному крузі. Відхилення від цієї закономірності спостерігається тільки при виникненні в пружній системі верстата параметричного резонансу.

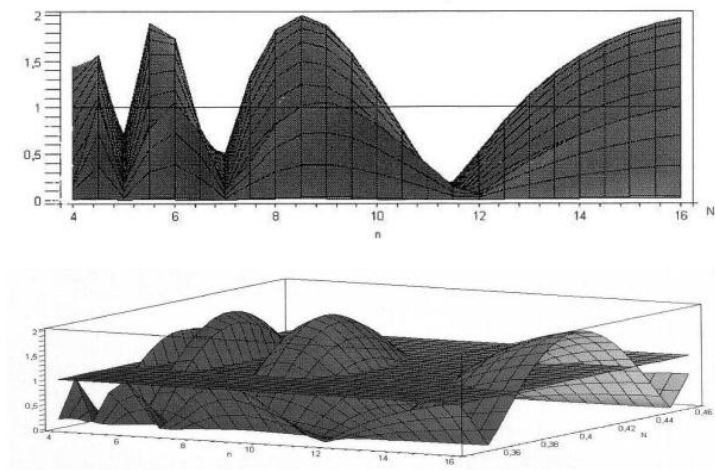


Рисунок 1 – Параметрична нестійкість пружної системи верстата в інтервалі зміни кількості ріжучих виступів на переривчастому крузі  $4 \leq n \leq 16$

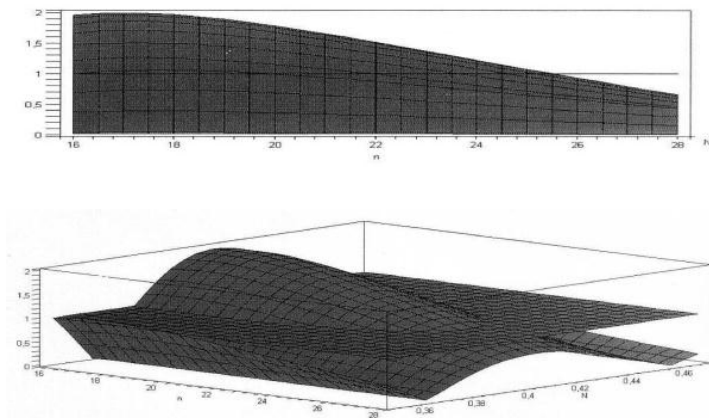


Рисунок 2 – Параметрична нестійкість пружної системи верстата в інтервалі зміни кількості ріжучих виступів на переривчастому крузі  $16 \leq n \leq 28$

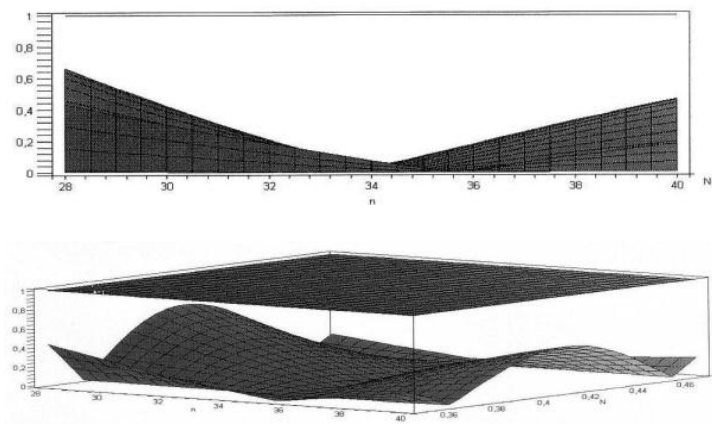


Рисунок 3 – Параметрична нестійкість пружної системи верстата в інтервалі зміни кількості ріжучих виступів на переривчастому крузі  
 $28 \leq n \leq 40$

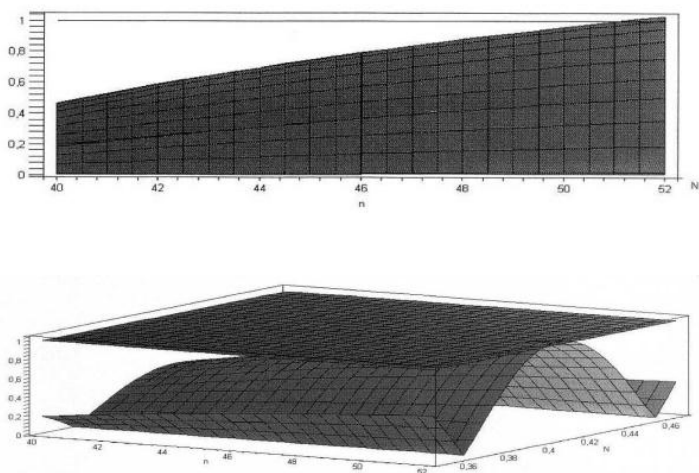


Рисунок 4 – Параметрична нестійкість пружної системи верстата в інтервалі зміни кількості ріжучих виступів на переривчастому крузі  
 $40 \leq n \leq 52$

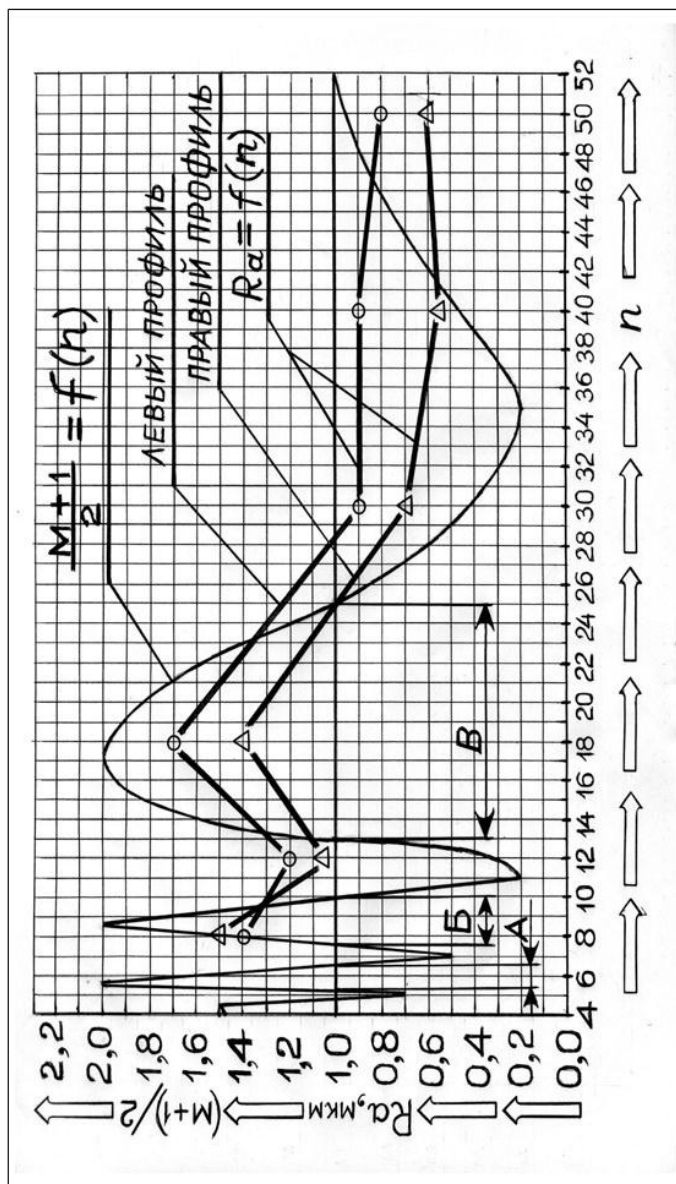


Рисунок 5 – Вплив параметричної нестійкості пружної системи верстата на шорсткість обробленої поверхні

Висота шорсткості обробленої поверхні залежить не тільки від числа ріжучих виступів на переривчастому крузі. Більшою мірою вона залежить від величини відношення ширини западини  $l_2$  до довжини виступу  $l_1$  (тобто від коефіцієнта уривчастості  $N$ ). Чим більше величина цього відношення, тим гірше шорсткість. Це видно з експериментальних даних, представлених на рис. 6. Експерименти проводилися для плоского шліфування.

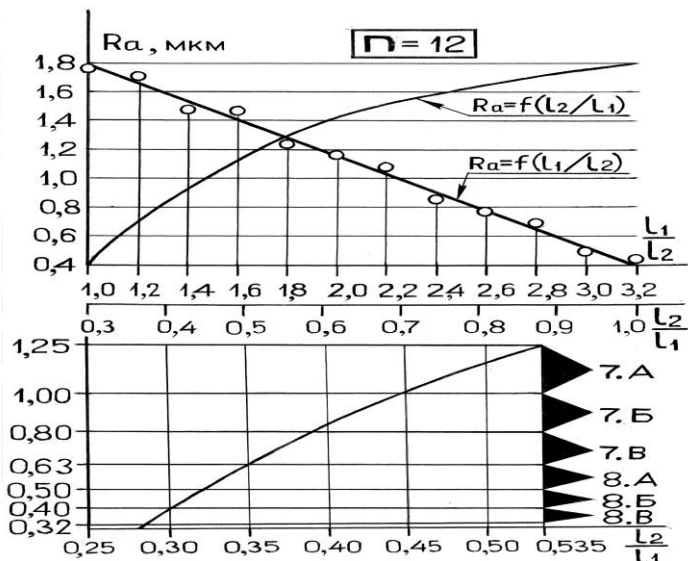


Рисунок 6 – Залежність шорсткості поверхні від співвідношення протяжності ріжучого виступу  $l_1$  і западини  $l_2$  переривчастого круга після 10-хвилинного періоду шліфування на режимах:  
 $V = 9 \text{ м/хв}$ ;  $t = 0,03 \text{ мм}$ ;  $S = 2,4 \text{ мм/ход}$

**Висновок.** Стаття присвячена актуальній проблемі виявлення умов виникнення в пружній системі верстата коливань, здатних погіршити якісні показники поверхонь деталей, що формуються в умовах преривчастого шліфування. Теоретично обгрунтовано і експериментально підтверджено вплив кількості прорізів на абразивному крузі і величини відношення ширини прорізу до розміру ріжучого виступу на параметричну стійкість пружної системи верстата і на геометричні показники якості оброблюваної поверхні. Матеріали статті можуть бути використані в інструментальних цехах машинобудівних заводів при проектуванні преривчастого абразивного інструменту.

**Список використаних джерел :** 1. *Лищенко Н.В., Ларшин В.П., Якимов А.В.* Определение температуры прерывистого шлифования // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2012. – Вип.2(39). – С.80-85. 2. *Оргиян А.А.* Колебания и устойчивость упругих систем обточных, копировальных станков/Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. НТУ «ХПІ». – 2000. – Вип. 1(3). – С.184-190. 3. *Оргиян А.А.* Условие параметрической неустойчивости замкнутой динамической системы расточного станка/Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2006. – Вип.70. – С.362-369. 4. *Оргиян О.А., Бажанов О.І., Бензар А.М.* Параметричні коливання при механічній обробці деталей//Физические и компьютерные технологии. – Труды 15-й Международной научно-технической конференции, 2-3 декабря 2009 г.– Харьков: ХНПК «ФЭД», 2009. – С.40-46. 5. *Оргиян О.А., Бажанов О.І., Бензар А.М.* Обработка перерывчатых поверхонь на розточувальних верстатах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип.81 – С.253-257. 6. *Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А.* Обработка деталей на отделочно-расточных станках. – К.: Техника. – 2001. – 300 с. 7. *Линчевский П.А., Оргиян А.А., Онищенко С.М.* Тонкое растачивание отверстий с прерывистой поверхностью // Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С.48-52. 8. *Свирицев В.И.* Повышение эффективности процессов шлифования за счет их динамической стабилизации // Прогрессивные процессы и оборудование механической обработки деталей авиационной техники/КАИ, Казань, 1984. – С.26-32. 9. *Усов А.В.* Параметрические резонансы, возникающие при кусочно-постоянном возбуждении упругой системы шлифовального станка / *А.В. Усов, А.А. Якимов* // Праці Одеськ. нац. політехн. ун-ту: Наук. та наук.– вироб. зб. – Одеса: ОНПУ, 2014.– Вип.1 (43). – С.60-68.

**Bibliography (transliterated):** 1.Lishchenko N.V., Larshin V.P., Jakimov A.V. Opredelenie temperatury preryvistogo shlifovaniya//Praci Odes'kogo politehnichnogo universitetu: Naukovij ta naukovovo-virobnichij zbirnik .- Odesa, 2012.-Vip.2(39).- S.80-85. 2.Orgijan A.A. Kolebanija i ustojchivost' uprugih sistem obtochnyh, kopiroval'nyh stankov//Visoki tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. nauk. pr. NTU «HPI». - 2000. - Vip. 1(3). - S.184-190. 3.Orgijan A.A. Uslovie parametricheskoj neustojchivosti zamknutoj dinamicheskoy sistemy rastocznego stanka/Rezanie i instrument v tehnologicheskix sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. - Har'kov, NTU «HPI», 2006. - Vyp.70. - S.362-369. 4.Orgijan O.A., Bazhanov O.I., Benzar A.M. Parametrichni kolivannja pri mehanichnij obrobci detalej//Fizicheskie i komp'juternye tehnologii. - Trudy 15-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, 2-3 dekabrja 2009 g - Har'kov: HNPK «FJeD», 2009. - S.40-46. 5.Orgijan O.A., Bazhanov O.I., Benzar A.M. Obrobka pererivchastih poverhon' na roztochuval'nih verstatah //Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im.Petra Vasilenka. - Harkiv: HNTUSG, 2009. - Vip.81 - S.253-257. 6.Lincevskij P.A., Dzhugurjan T.G., Orgijan A.A. Obrabotka detalej na otdelocno-rastocnyh stankah. - K.: Tehnika. 2001. - 300s. 7.Lincevskij P.A., Orgijan A.A., Onishhenko S.M. Tonkoe rastachivanie otverstij s prery-vistoj poverhnost'ju//Fizicheskie i komp'juternye tehnologii. - Trudy 11-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, 2-3 ijunja 2005 g. - Har'kov: HNPK «FJeD», 2005. - S.48-52. 8. Svirshhev V.I. Povyshenie jeffektivnosti processov shlifovaniya za schet ih dinamicheskoy stabilizacii./Progrressivnye processy i oborudovanie mehanicheskoy obrabotki detalej aviacionnoj tehniki/KAI, Kazan', 1984. - S.26-32. 9.Usov, A.V. Parametricheskie rezonansy, vznikajushhie pri kusochno-postojannom vzbuzhdenii uprugoj sistemy shlifoval'nogo stanka /A.V. Usov, A.A. Jakimov//Praci Odes'k. nac.. politehn. un-tu: Nauk. ta nauk.- virob. Zb.- Odesa: ONPU, 2014.- Vip.1 (43). - S.60-68.

*Поступила в редколегію 30.07.2015*